

ВЛИЯНИЕ МЕГАПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТРУКТУРНЫЕ И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ Al-Li СПЛАВАХ

Распосиенко Д. Ю., Кайгородова Л. И.

Руководитель – профессор, д. ф.-м. н. Пушин В. Г.

Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург,

dmitrijrasp@gmail.com

Исследование посвящено изучению структурных и фазовых превращений промышленных сплавов 1450 (Al-2%Li-3%Cu-0,1%Zr) и 1469 (Al-3,2%Cu-1,2%Li-0,4%Ag-0,3%Mg-0,09%Zr-0,11%Sc) с субмикроструктурной (СМК) и нанокристаллической (НК) структурами. Для получения в них данных структур использовалась мегапластическая деформация (МПД) кручением под высоким давлением при комнатной температуре в наковальнях Бриджмена. Формирование в исследуемых сплавах рекристаллизованной СМК - или НК - структуры достигалось низкотемпературными отжигами при 190 и 150 °С в течение 10 и 15 ч, соответственно.

Сплав 1450. В сплаве 1450, независимо от режимов МПД и постдеформационных отжигов, НК- структуры создать не удалось. Однако было обнаружено, что образование в этом сплаве СМК структуры (размер зерен составляют 150 – 400 нм) способствует изменению его фазового состава и характера зарождения и роста выделившихся фаз [1]. Так, при искусственном старении сплава с СМК структурой выделяются равномерно распределенные в объеме зерен и по их границам мелкодисперсные частицы стабильных фаз T_1 (Al_2CuLi) и T_2 (Al_6CuLi_3) в форме тонких дисков [1].

Сплав 1450 с комплексной добавкой Sc+Mg. Для получения в сплаве 1450 НК – структуры, использовали его комплексное легирование скандием и магнием. Исследование действия МПД на состояние зеренной структуры легированного сплава 1450 выявило формирование равноосных фрагментов (рис. 1 а) [2]. Вдоль ряда границ фрагментов были обнаружены крупномасштабные, так называемые «дипольные» границы, обрывающиеся внутри фрагментов. Возрастание степени деформации привело к уменьшению размеров фрагментов от 150 до 40 нм и к их более однородному распределению по размерам. Наряду с фрагментами после МПД были выявлены равноосные нанозерна того же размера (рис. 1 б), которые по-видимому образовались вследствие частичной динамической рекристаллизации в процессе МПД. Плотность распределения нанозерен в сильнодеформированном сплаве повышалась при увеличении степени деформации.

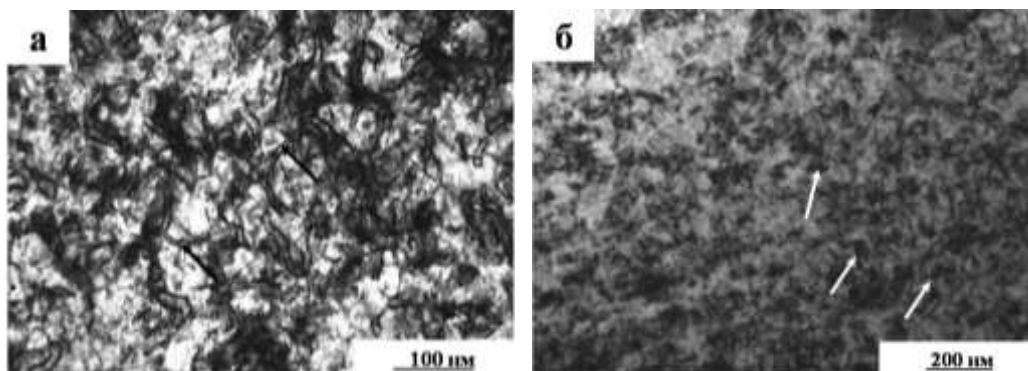


Рис. 1. Светлопольные изображения структуры легированного сплава 1450 после МПД:
а - $P = 4$ ГПа, $\varphi = 10\pi$; б - $P = 8$ ГПа, $\varphi = 20\pi$ (стрелками отмечены рекристаллизованные зерна)

Для получения в сплаве 1450 с добавкой (Sc+Mg) рекристаллизованной НК – структуры после МПД был использован низкотемпературный отжиг при 150°C в течение 15 ч. В [2] обнаружено, что при отжиге одновременно реализуются рекристаллизация, сопровождающаяся трансформацией нанофрагментированной структуры в НК-, и распад пересыщенного твердого раствора, в процессе которого преимущественно гетерогенно выделяются стабильные фазы T_2 и S_1 (Al_2LiMg) в форме дисков (рис. 2 а, б). Увеличение степени деформации приводит к возрастанию плотности распределения и размеров частиц каждой из фаз \sim в 2 раза.

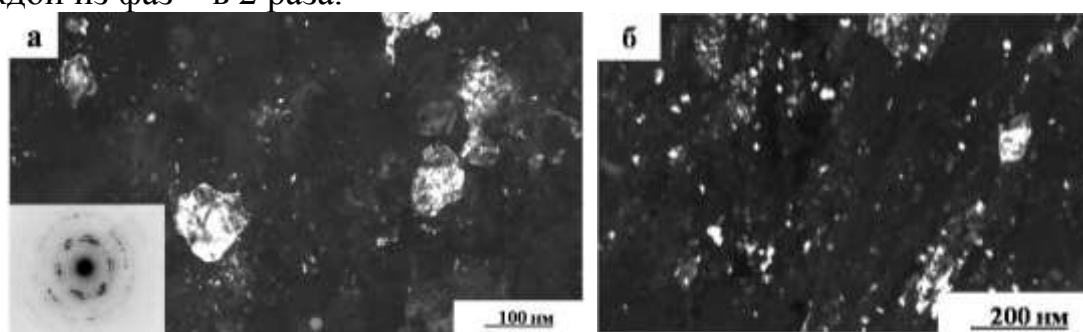


Рис. 2. Темнопольные изображения структуры сплава 1450 (Sc + Mg) после МПД $P = 4$ ГПа, $\varphi = 10\pi$ и отжига при 150°C , 15 ч: а - в рефлексе $(220)_{\text{Al}}$, соответствующая кольцевая электронограмма; б - в рефлексе $(530)_{T_2}$

Сплав 1469. В закаленном состоянии сплав обладает мелкокристаллической зеренной структурой с преимущественным размером зерен 5 – 10 мкм. Снижение в сплаве содержания Li (по сравнению со сплавом 1450) и присутствие 0,4% Ag приводит к выделению при искусственном старении на максимальное упрочнение фаз T_1 и Ω (Al_2Cu).

Использование МПД приводит к образованию в сплаве 1469, как и в сплаве 1450, нанофрагментированной структуры (рис 3). В то же время, структуры этих сплавов имеют ряд различий. Во-первых, в сплаве 1469 практически сразу после МПД, независимо от ее режима, на фоне фрагментов выявляются образовавшиеся в процессе динамической

рекристаллизации нанозерна диаметром 20 - 50 нм (рис. 3а). Во-вторых, в сплаве 1469 сразу после деформации или в ее процессе реализуется распад пересыщенного твердого раствора с преимущественным выделением фазы T_2 (рис. 3б) [3]. Возрастание степени МПД приводит к активизации процессов динамической рекристаллизации (после $P = 4$ ГПа, $\varphi = 20\pi$ рад в сплаве наблюдается практически полностью рекристаллизованная структура) и распада пересыщенного твердого раствора. Вместе с тем, при всех режимах МПД частицы сохраняют высокую степень дисперсности (их диаметр не превышает 1 – 5 нм) и гетерогенно зарождаются преимущественно на границах фрагментов, нанозерен и сохранившихся дипольных границах.

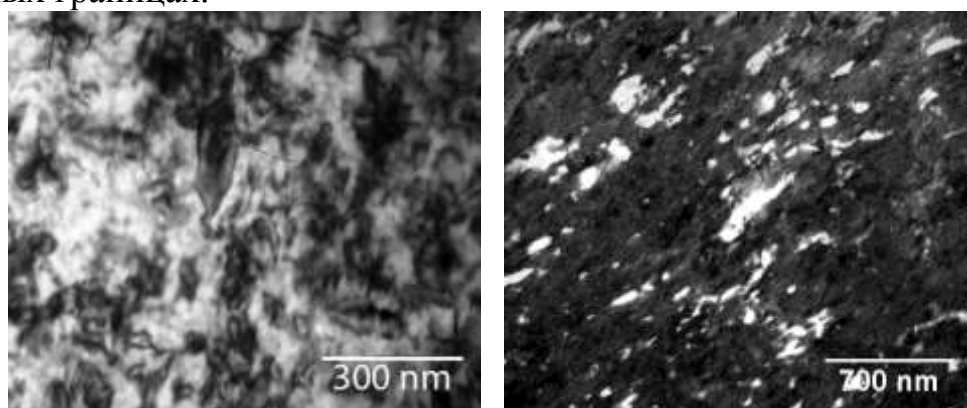


Рис. 3. Микроструктура сплава 1469 после МПД $P = 4$ ГПа, $\varphi = 20\pi$ рад: а – светлопольное изображение; б - темнопольное изображение в близких рефлексах $(530)_{T_2}$ и $(200)_{Al}$

При отжиге в сильнодеформированном сплаве 1469 образуется рекристаллизованная НК- структура с размером нанозерен 30 – 70 нм. Увеличение степени МПД приводит к возрастанию степени ее дисперсности и однородности. Границы нанозерен после отжига остаются неравновесными, что подтверждает их выпукло-вогнутая форма и наличие на электронно-микроскопических изображениях вблизи нанозерен характерного деформационного контраста. Отжиг сильнодеформированного сплава не приводит к изменению его фазового состава. Также, как и после МПД, в нем присутствуют мелкодисперсные частицы фазы T_2 .

Список использованной литературы:

1. Кайгородова Л.И., Владимирова Е.И., Иванова О.Р., Пилюгин В.П. Особенности старения сплава Al-Li-Cu-Zr с ультрадисперсной кристаллической структурой // ФММ, 2003, том 95, № 1, с. 63 - 70.
2. Кайгородова Л.И., Пушин В.Г., Распосиенко Д.Ю., Пилюгин В.П. Влияние интенсивной пластической деформации на образование нанокристаллической структуры и старение многокомпонентного алюминий-литиевого сплава с малыми добавками Sc и Mg // ФММ, 2011, том 111, № 1, с. 74 - 81.
3. Кайгородова Л.И., Распосиенко Д.Ю., Пушин В.Г., Пилюгин В.П. Структура и свойства промышленного стареющего сплава 1469 после мегапластической деформации кручением под давлением // ФММ, 2013 в печати.